

PENGUAPAN KROMOSFER YANG TERKAIT DENGAN *FLARE* TANGGAL 13 MEI 2013 (CHROMOSPHERIC EVAPORATION RELATED TO THE MAY 13, 2013 FLARE)

Agustinus Gunawan Admiranto
Peneliti Pusat Sains Antariksa, Lapan
e-mail: gun_agustinus@yahoo.com

ABSTRACT

Homologous flares occurred on May 13, 14, and 15, 2013. These flares triggered other phenomena, such as type II and III solar radio bursts, Moreton wave radiation, chromospheric evaporation, and the formation of coronal loops. In this respect the flare that occurred on May 13 was analyzed more closely to see the occurrence of a chromospheric evaporation using kymograph analysis in the ImageJ software. The analyzed phenomena were solar radio bursts and the formation of coronal loops. From these analysis it was concluded that the chromospheric evaporation was indeed happened, which was detected from the upward moving high velocity motion particles.

Keywords: *Homologous flare, Chromospheric evaporation, Solar radio burst, Coronal loop*

ABSTRAK

Pada tanggal 13, 14, dan 15 Mei 2013 berlangsung peristiwa *flare homolog* yang menghasilkan beberapa gejala fisis lain seperti semburan radio tipe II dan III, pelontaran massa korona, pancaran gelombang Moreton, dan penguapan kromosfer. Secara khusus telaah ini meninjau fenomena penguapan kromosfer, dengan melakukan telaah pada pancaran busur korona dan semburan yang diamati dalam panjang gelombang radio. Data yang dipakai adalah data pengamatan matahari dalam panjang gelombang *Ha* dan pengamatan dalam panjang gelombang radio, dan kecepatan penguapan kromosfer dihitung menggunakan metode *kymograph* pada perangkat lunak *ImageJ*. Berdasarkan analisis ini dapat disimpulkan bahwa pada tanggal 13 Mei 2013 memang benar terjadi peristiwa penguapan kromosfer dengan kecepatan yang cukup besar.

Kata kunci: *Flare homolog, Penguapan kromosfer, Semburan radio, Busur korona*

1 PENDAHULUAN

Matahari sekarang sedang dalam keadaan semakin aktif. Hal ini ditunjukkan dengan semakin banyaknya daerah aktif di permukaannya, serta semakin banyaknya peristiwa dahsyat seperti *flare* dan pelontaran massa korona. Pengamatan aktivitas matahari semakin banyak dilakukan dengan bertambahnya armada pengamatan matahari, terutama yang dilakukan dari angkasa luar seperti SOHO, TRACE, Hinode dan sebagainya. Saat peristiwa-peristiwa tersebut ber-

langsung, banyak kesempatan yang didapat untuk merekam berbagai fenomena fisik yang kemudian bisa dipakai untuk mendapatkan penjelasan tentang gambaran besar pada peristiwa *flare* atau pelontaran massa korona tersebut. Salah satu peristiwa yang akan ditelaah dalam rangka mendapatkan gambaran mengenai fenomena fisis yang menyertai peristiwa *flare* atau pelontaran massa korona adalah penguapan kromosfer.

Peristiwa penguapan kromosfer

adalah sebuah peristiwa pergerakan materi kromosfer ke atas dengan kecepatan yang lebih tinggi dari kecepatan lepasnya materi dari kromosfer tersebut melalui elektron nontermal atau konduksi termal (Li dan Ding, 2011). Menurut Ding et al. (1996) penguapan kromosfer itu sendiri terjadi ketika daerah transisi mengalami pemanasan oleh arus elektron non termal yang datang padanya atau secara termal oleh radiasi yang datang dari puncak busur. Pada sebuah peristiwa penguapan kromosfer, pergerakan materi yang bergerak ke atas bisa diikuti dengan pergerakan ke bawah yang kemudian disebut sebagai kondensasi kromosfer. Peristiwa penguapan kromosfer bisa diamati dalam panjang gelombang sinar X dan Ha (Aschwanden dan Benz, 1995). Meskipun demikian, pengamatan dalam panjang gelombang lain juga sudah dilakukan oleh kedua peneliti di atas seperti dalam panjang gelombang radio.

Ada beberapa pengamatan *flare* yang terkait dengan peristiwa penguapan kromosfer, di antaranya yang dilakukan Cauzzi et al (2000). Mereka mengamati *flare* yang berlangsung tanggal 26 Mei 2001 di daerah aktif NOAA 9468 dan menelaah penguapan kromosfer yang berlangsung. Mereka mendapatkan bahwa mekanisme peristiwa penguapan kromosfer ini cocok dengan yang sudah diramalkan oleh teori.

Tulisan ini menelaah peristiwa *flare* yang berlangsung pada tanggal 13 Mei 2013, yang berpuncak pada pukul 2:17 UT. Berbagai penelitian sebelumnya melakukan telaah spektroskopik menggunakan pergeseran *Doppler* garis-garis spektrum tertentu untuk menentukan kecepatan pergerakan materi yang terlibat dalam penguapan kromosfer (Ding et al., 1996; Silva et al., 1997), sedangkan tulisan ini menelaah dinamika lontaran partikel yang teramati dalam panjang gelombang Ha dan gelombang radio untuk mengetahui apakah penguapan kromosfer itu terjadi atau tidak. Data dan reduksi data dibahas di bagian 2,

hasil reduksi data dipaparkan di bagian 3, sedangkan hasil dan pembahasan diuraikan di bagian 4.

2 LANDASAN TEORI

Dalam model standar *flare*, rekoneksi magnet merupakan mekanisme utama pelepasan energi dalam mempercepat partikel-partikel bermuatan yang terdapat di korona. Partikel-partikel bermuatan ini kemudian dihantarkan ke arah bawah ke kromosfer bawah melalui garis-garis gaya medan magnet. Selanjutnya, di daerah kromosfer partikel-partikel yang mendapatkan tekanan tersebut kemudian bergerak ke atas sepanjang garis gaya medan magnet, dan pergerakan ini diberi nama "penguapan kromosfer" (Ning et al. 2009).

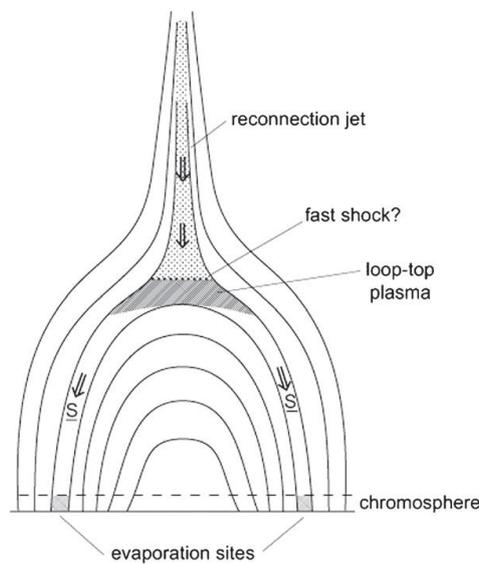
Penguapan kromosfer bisa digolongkan menjadi dua jenis, yaitu yang bersifat tenang dan yang bersifat eksplosif. Kedua jenis penguapan ini dibedakan dari fluks elektron yang dipancarkannya. Bila fluks elektron $\leq 10^{10}$ erg/cm²/detik, maka yang berlangsung adalah penguapan tenang, dan bila fluks elektron yang dilontarkan $\geq 3 \times 10^{10}$ erg/cm²/detik maka penguapan kromosfer yang dimaksud adalah sebuah penguapan eksplosif (Milligan et al., 2006). Selanjutnya, Brosius dan Holman (2007) mengamati sebuah *flare* yang memiliki kelas sinar X M1.6 yang terjadi pada tanggal 22 Juli 2004. Mereka mendapatkan adanya penguapan kromosfer yang bersifat eksplosif akibat *flare* yang diakibatkan oleh pancaran elektron yang datang dari sumber pancaran *flare* yang bersangkutan.

Haerendel (2009) menelaah mekanisme berlangsungnya sebuah penguapan kromosfer secara teoretis. Ia mengatakan bahwa penguapan kromosfer terjadi ketika sebuah gelombang Alfvén yang menjalar di dalam sebuah tabung fluks kemudian dilepaskan ke atas ke arah kromosfer ketika sampai di puncak busur tabung fluks tersebut.

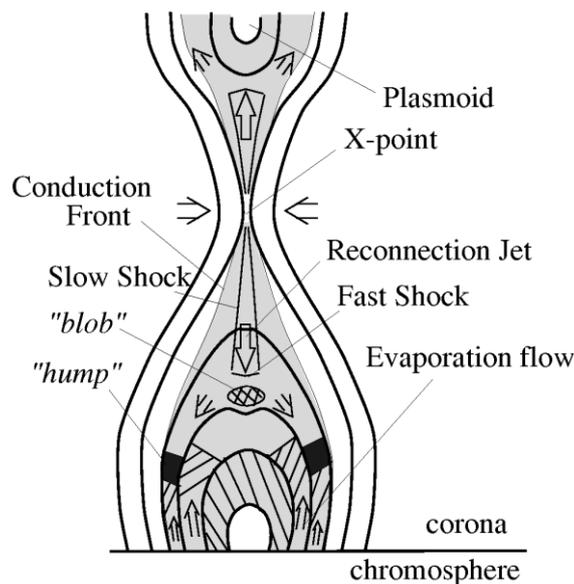
Selanjutnya ia mencoba memperkirakan mekanisme apa yang mengakibatkan adanya disipasi gelombang Alfvén, dan menurutnya ada tiga kemungkinan yang bisa terjadi, yaitu tumbukan ion dengan partikel netral, tumbukan Coulomb (tumbukan partikel-partikel bermuatan di dalam medan listrik yang mereka timbulkan), atau disipasi melalui turbulensi dalam penjalaran gelombang di daerah kromosfer tersebut. Dari telaah yang dilakukannya, ia dapatkan bahwa mekanisme yang paling mungkin bagi berlangsungnya penguapan kromosfer ini adalah proses

peredaman yang disebabkan oleh penjalaran gelombang Alfvén ke arah kromosfer tersebut.

Yokoyama dan Shibata (1998) melakukan telaah numerik pada peristiwa *flare* dengan menggunakan model rekoneksi magnet. Mereka mengawali model ini dengan melakukan telaah pada sebuah busur yang mengalami gangguan dan gangguan ini mengakibatkan adanya aliran materi dari kromosfer ke arah korona. Di sini didapat bahwa kerapatan partikel yang bergerak ini lebih tinggi kerapatan partikel sekelilingnya.



Gambar 2-1: Gambaran skematis menurut Haerendel (2009) tentang peristiwa penguapan kromosfer akibat hantaran partikel di dalam sebuah tabung fluks yang kemudian dilepaskan ke daerah kromosfer



Gambar 2-2: Model penguapan kromosfer menurut Yokoyama dan Shibata (1998). Tampak adanya aliran materi dari kromosfer ke arah korona yang ditafsirkan sebagai peristiwa penguapan kromosfer (Yokoyama dan Shibata, 1998)

3 DATA DAN REDUKSI DATA

3.1 Pengamatan Dalam Panjang Gelombang Ha

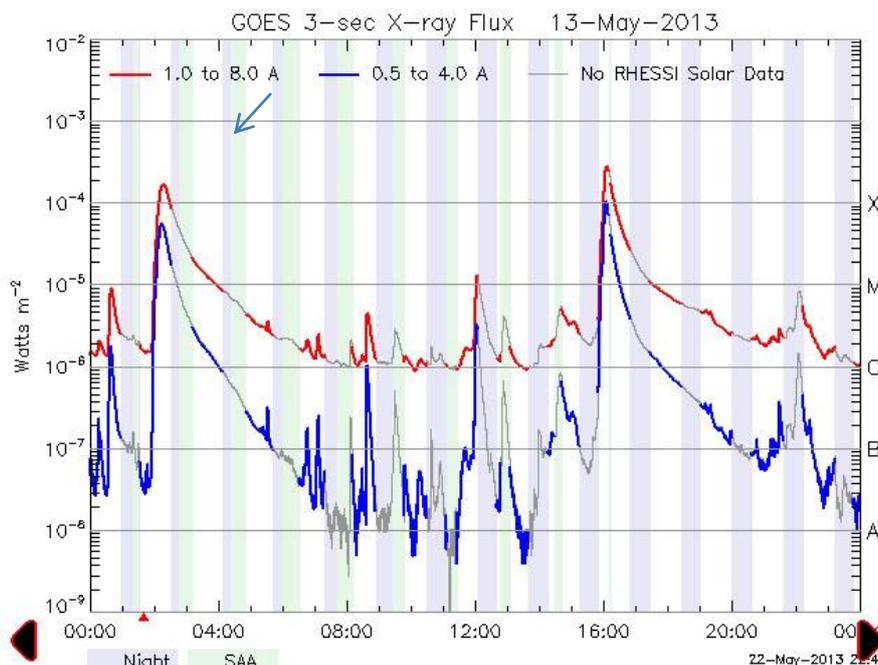
Peristiwa penguapan kromosfer diamati pada *flare* homolog yang berlangsung pada tanggal 13, 14, dan 15 Mei 2013 di daerah aktif NOAA 1748, di mana kekuatan *flare* yang muncul adalah kelas **X1.7** (13 Mei pukul 02:17 UT), kelas **X2.8** (13 Mei pukul 16:09 UT), kelas **X3.2** (14 Mei pukul 01:17 UT), dan kelas X1.2 (15 Mei pukul 01:52). Telaah ini meninjau *flare* tanggal 13 Mei secara lebih mendalam, terutama pada pukul 02:17 UT karena *flare* ini muncul di tepi piringan matahari, sehingga busur partikel yang terkungkung medan magnet tersebut menjadi kelihatan.

Data yang dipakai adalah data pengamatan dalam panjang gelombang Ha yang diperoleh dari Big Bear Solar Observatory, citra Ha dari situs *Global Oscillation Network Group* (GONG, dan data pancaran gelombang radio dari Culgoora Observatory, Australia. Selain itu, diambil juga data dalam *white light* untuk melihat posisi daerah yang bersangkutan pada piringan matahari. Data fluks pancaran sinar X dari matahari didapat dari pengamatan satelit GOES. Data ini dipakai untuk

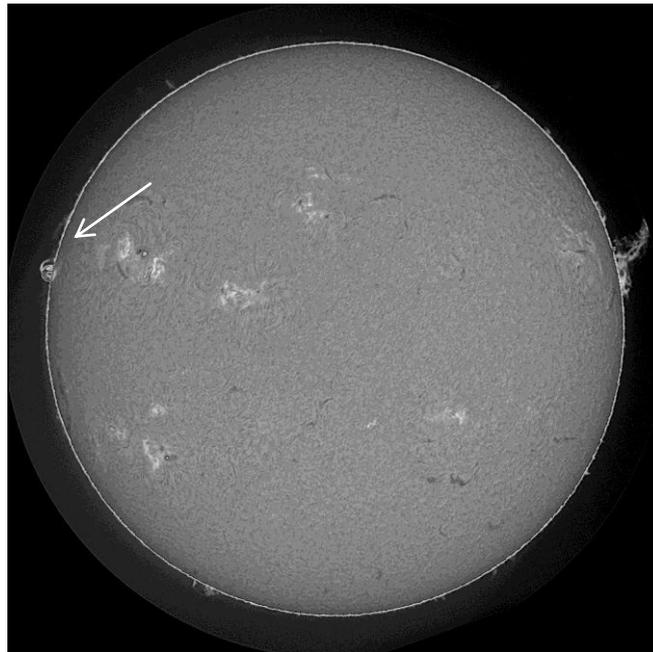
melihat seberapa kuat pancaran radiasi sinar X di hari yang bersangkutan relatif terhadap hari lain.

Dalam hubungan ini, dilakukan analisis *time slice* pada busur korona yang terkait dengan *flare* tersebut. Di sini digunakan data citra Ha matahari yang menampilkan busur di tepi piringan matahari. Data yang diambil adalah sejumlah 61 buah yang diambil antara pukul 16:00 sampai 17:00 UT dengan selang pengambilan gambar 1 menit. Tempat kedudukan busur yang dianalisis ditunjukkan di Gambar 3-2.

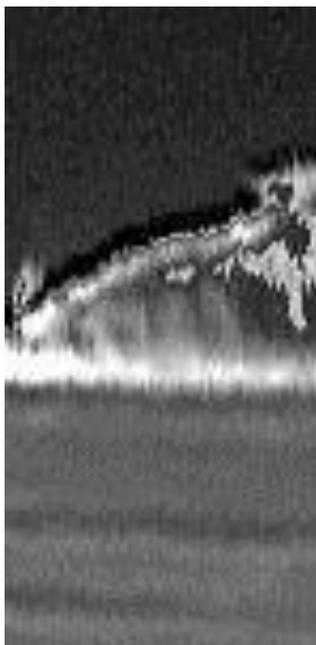
Analisis *time slice* yang dimaksud di atas dilakukan menggunakan *tool kymograph* pada perangkat lunak ImageJ. Cara ini dipakai untuk melihat pergerakan materi dalam waktu dan dari sini bisa ditentukan kecepatan pergerakan materi tersebut. Cara kerja metode ini adalah menumpuk 61 buah gambar menjadi satu dan pada tumpukan gambar ini ditarik garis pada citra busur korona sehingga pada garis ini akan kelihatan perubahan posisi puncak busur sehingga kecepatan pergerakan busur bisa dihitung. Gambar hasil analisis *time slice* ini bisa dilihat pada Gambar 3-3.



Gambar 3-1: Kuat pancaran *flare* dalam panjang gelombang sinar X yang diambil menggunakan satelit GOES (tanda panah)



Gambar 3-2: Busur di tepi piringan matahari yang menjadi tempat berlangsungnya proses penguapan kromosfer



Gambar 3-3: Pola *kymograph* yang merupakan hasil analisis *time slice* dalam rangka menentukan kecepatan pergerakan busur partikel saat berlangsungnya penguapan kromosfer

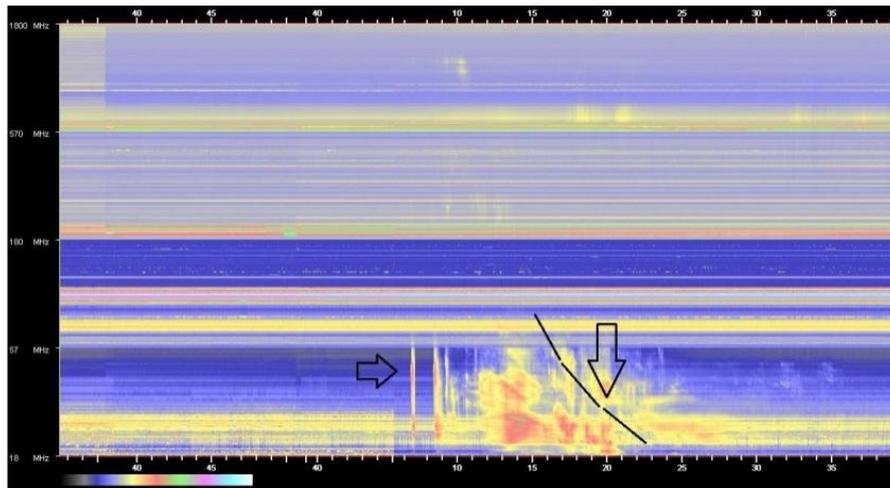
Gambar 3-3 menunjukkan bahwa materi yang bergerak ke atas mengalami perlambatan dan perhitungan pada pergerakan busur di atas menunjukkan bahwa materi busur bergerak dengan kecepatan rata-rata sebesar 12,23 km/detik. Peristiwa pergerakan materi bisa dilihat sebagai dampak lain dari

peristiwa penguapan kromosfer, di mana peristiwa lain yang muncul akibat penguapan kromosfer ini adalah munculnya pancaran radiasi dalam gelombang radio yang akan diuraikan di bawah.

3.2 Semburan Dalam Panjang Gelombang Radio

Terkait dengan peristiwa *flare* tersebut, dalam panjang gelombang radio teramati adanya semburan radio yang teramati di berbagai stasiun, termasuk dari Culgoora sebagaimana terlihat pada Gambar 3-4.

Dengan menggunakan *tool* untuk menghitung kecepatan yang terdapat pada situs Culgoora didapat bahwa kecepatan gelombang kejut semburan radio tipe II yang dihasilkan oleh *flare* ini memiliki kecepatan sebesar 1559 km/detik, sedangkan kecepatan partikel yang dihasilkan oleh semburan radio tipe III adalah sebesar 33919 km/detik. Harga kecepatan yang diperoleh di sini jauh lebih besar bisa dibandingkan dengan harga kecepatan gerakan di kromosfer yang berada dalam orde sekitar 100-1000 km/detik (Ding et al. 1996; Cauzzi et al. 2002).



Gambar 3-4: Semburan radio yang berlangsung pada tanggal 13 Mei 2013, yang bersesuaian waktu dengan puncak *flare* pada tanggal itu. Tampak adanya semburan tipe II (di sebelah kanan) dan tipe III (di sebelah kiri)

4 PEMBAHASAN

Ketika terjadi penguapan kromosfer, partikel-partikel yang dilontarkannya bertemu dengan partikel-partikel yang terdapat di angkasa matahari. Hal ini mengakibatkan dua fenomena yang berbeda, yaitu semburan tipe II dan tipe III. Semburan radio tipe II diakibatkan oleh tumbukan partikel energi tinggi dengan plasma yang terdapat di angkasa matahari. Ketika partikel-partikel ini bertumbukan dengan plasma tersebut, terjadilah pancaran radiasi dalam gelombang radio. Frekuensi radiasi ini bergantung pada kerapatan plasma yang dijumpainya. Oleh sebab itu, di sini terjadi pergeseran frekuensi radiasi yang ditunjukkan dengan adanya pola yang secara skematis memiliki kemiringan tertentu.

Semburan tipe III yang di dalam Gambar 3-4 memiliki kemiringan yang berbeda dengan yang dimiliki semburan tipe II karena semburan ini berasal dari partikel yang langsung dilontarkan ke angkasa. Itulah sebabnya kecepatan partikel yang diturunkan dari gambar di atas nilainya jauh lebih tinggi dibandingkan dengan yang dimiliki semburan tipe II.

Kedua fenomena di atas serta adanya busur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-2 memberikan indikasi kuat bahwa penguapan kromosfer

memang benar terjadi. Untuk mendapatkan informasi lebih lanjut mengenai penguapan kromosfer tersebut kita harus melakukan analisis lebih lanjut menggunakan data lain seperti data pancaran sinar X untuk mendapatkan citra pergeseran *Doppler* sehingga kecepatan penguapan kromosfer yang berlangsung bisa diperoleh dengan akurat.

Dalam pandangan penulis, penentuan kecepatan penguapan kromosfer dengan menggunakan analisis kecepatan pergerakan partikel yang menghasilkan semburan radio bisa dipakai sebagai pembanding terhadap penentuan kecepatan penguapan kromosfer dengan cara pengamatan pergeseran *Doppler*.

Skenario peristiwa yang berlangsung pada tanggal 13 Mei ini adalah sebagai berikut:

- a. Sebuah *flare* impulsif muncul pada pukul 01:53 UT, dan kemudian mencapai puncaknya pada 02:17 UT.
- b. *Flare* impulsif ini kemudian menghasilkan pancaran gelombang elektromagnetik dan partikel energi tinggi yang memicu penguapan kromosfer dan selanjutnya melemparkan partikel-partikel dengan kecepatan tinggi ke arah angkasa matahari. Seperti yang diuraikan oleh Doscheck et al. (2013), partikel-partikel energi tinggi bergerak sepanjang garis-garis gaya medan

magnet dan bergerak terus ke angkasa matahari.

- c. Radiasi gelombang elektromagnetik dari *flare* kemudian bertumbukan dengan plasma berkepadatan tinggi yang terdapat di angkasa matahari, dan menghasilkan semburan radio tipe III. Selain itu, partikel-partikel energi tinggi yang dipancarkannya bertumbukan dengan plasma dan kemudian mengakibatkan adanya pelontaran massa korona dan disertai dengan semburan radio tipe II.
- d. Dampak lain dari peristiwa *flare* ini adalah munculnya busur korona sebagaimana terlihat pada Gambar 3-2. Fenomena ini juga ditemui oleh Ning et al (2009) yang menelaah sebuah peristiwa *flare* yang terjadi pada tanggal 1 Desember 2004. Ia melihat bahwa partikel yang dipancarkan oleh *flare* tersebut memicu terbentuknya sebuah busur korona yang mengembang ke atas.
- e. Dari munculnya radiasi tipe II yang tampil dalam panjang gelombang radio seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-4, bisa dipastikan bahwa peristiwa *flare* ini diikuti dengan peristiwa pelontaran massa korona yang bila dilihat dari kecepatan partikelnya yang sebesar 1559 km/detik menunjukkan bahwa pelontaran massa korona ini memiliki energi yang cukup besar.

5 KESIMPULAN

Peristiwa *flare*, terutama *flare* homolog dimana di satu daerah aktif muncul beberapa *flare* secara berurutan adalah peristiwa yang cukup dahsyat sehingga bisa memunculkan berbagai peristiwa lainnya seperti penguapan kromosfer. Analisis pada peristiwa penguapan kromosfer itu sendiri akan lebih mendalam bila dilakukan juga analisis pergeseran *Doppler* garis-garis spektrum dan dari sini kecepatan penguapan kromosfer tersebut bisa diketahui dengan cukup akurat.

Terkait dengan peristiwa *flare* homolog tanggal 13, 14, dan 15 Mei 2013, diperlukan analisis lebih lanjut mengenai berbagai peristiwa yang terkait dengan *flare* tersebut, seperti semburan radio, penguapan kromosfer, serta pelontaran massa korona. Pengamatan dan analisis yang berlangsung lebih komprehensif bisa memberikan wawasan lebih mendalam tentang berbagai fenomena tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Johan Muhamad yang telah membantu penulis dalam melakukan analisis *kymograph* pada gerakan busur partikel yang bergerak di korona matahari.

DAFTAR RUJUKAN

- Aschwanden, M., Benz, A. O., 1995. *Chromospheric Evaporation and Decimetric Radio Emission in Solar Flares*, *Astrophysical Journal* 438, 997.
- Brosius, J. W., G. D, Holman, 2007. *Chromospheric Evaporation in a Remote Solar Flare-like Transient Observed at High Time Resolution with SOHO's CDS and RHESSI*, *Ap. J. Letters*, 659, L73.
- Cauzzi, G., Falchi, A., Teriaca, L., Falciani, R., Smaldone. L.A., Andretta, V., 2002. *Chromospheric Evaporation in a Two Ribbon Flare*, *Proc. 10th European Solar Physics Meeting, Solar Variability: From Core to Outer Frontiers*.
- Ding, M. D., Watanabe, T., Shibata, K., Sakurai, T., Kosugi, T., Fang, C., 1996. *Chromospheric Evaporation in Four Solar Flares Observed by YOHKOH*, *The Astrop. Journal* 458, 391.
- Doscheck, G. A., Warren, H. P., Young, P., 2013. *Chromospheric Evaporation in an M1.8 Flare Observed by the Extreme-ultraviolet Imaging Spectrometer on Hinode*, *Ap.J.* 767, 55.

- Haerendel, G., 2009. *Chromospheric Evaporation Via Alfvén Waves*, *Astrop. J.* 707, 903.
- Li, Y., Ding, M. D., 2011. *Different Pattern of Chromospheric Evaporation in a Flaring Region Observed with HinodeEIS*, *Astrop. Journal*, 727, 98.
- Milligan, R. O., Gallagher, P. T., Mathioudakis, M., Keenan, F.P., 2006. *Observational Evidence for Gentle Chromospheric Evaporation During the Impulsive Phase of a Solar Flare*, *The Astrophysical Journal*, 642, L169.
- Ning, Z., Cao, W., Huang, J., Huang, G., Yan, Y., Feng, H., 2009. *Evidence of Chromospheric Evaporation in the 2004 December 1 Solar Flare*, *The Astrop. Journal* 699, 15.
- Silva, A. V. R., Wang, H., Gary, D. E., Nitta, N., Zirin, H., 1997. *Imaging the Chromospheric Evaporation of the 1994 June 30 Solar Flare*, *Astrop. J.* 481, 978.
- Yokoyama, T., Shibata, K., 1998. *Two Dimensional MHD Simulation of Chromospheric Evaporation Driven by Magnetic Reconnection in Solar Flares*, *The Astrophysical Journal*, 494, L113.